

Epitaxial growth of crystal, e.g. hexagonal gallium nitride, on substrate with common type of atom uses lighter substrate with rough or porous surface and thermal decomposition to release common atoms during growth

Patent Number: DE19936905
Publication date: 2001-03-08
Inventor(s):
Applicant(s): HOFFMANN AXEL (DE)
Requested Patent: ☐ [DE19936905](#)
Application Number: DE19991036905 19990730
Priority Number(s): DE19991036905 19990730
IPC Classification: C30B25/02; C30B29/00
EC Classification: [C30B25/02](#), [C30B25/18](#), [H01L21/205C](#)
Equivalents:

Abstract

In producing a crystal of substance (I) containing ≥ 2 types of atom on crystalline substrate (II) of a substance, with ≥ 1 type of atom in common with (I) and lower melting point than (I), by heating (II) to below its melting point, bombarding with precursor gas(es) (III) and splitting (some) (III) particles into ≥ 2 parts, (II) has a rough or porous surface and lower mass density than (I) and is decomposed thermally to release the common atoms gradually during crystal growth. Independent claims are also included for (a) film-type gallium nitride crystals made by this process; (b) indium nitride crystals made by this process; (c) indium gallium nitride crystals for use as substrate in an epitaxial crystal growth process, which are made by this process;

Data supplied from the esp@cenet database - I2

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①⑨ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 36 905 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
C 30 B 25/02
C 30 B 29/00

②① Aktenzeichen: 199 36 905.4
②② Anmeldetag: 30. 7. 1999
④③ Offenlegungstag: 8. 3. 2001

DE 199 36 905 A 1

⑦① Anmelder:
Hoffmann, Axel, Dr., 14197 Berlin, DE

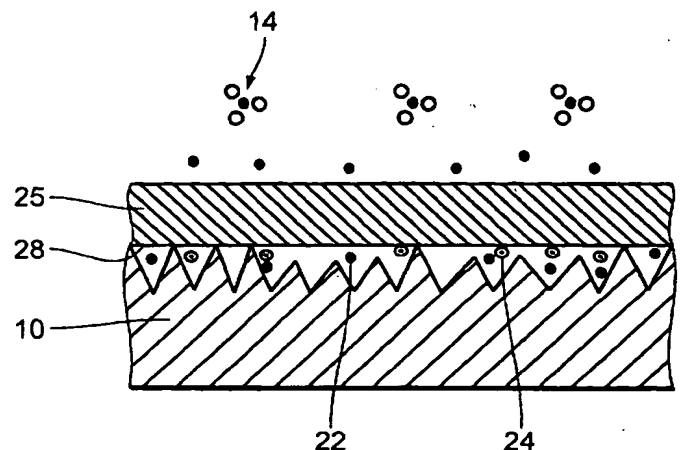
⑦④ Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

⑦② Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Herstellung eines Kristalls

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Kristalls (25, 25') eines ersten, mindestens zwei Atomsorten (22, 24) enthaltenden Stoffs auf einem kristallinen Substrat (10, 10') eines zweiten Stoffs, der mindestens eine Atomsorte (24) mit dem ersten Stoff gemeinsam hat und der eine geringere Schmelztemperatur hat als der erste Stoff. Bei dem Verfahren wird das Substrat auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des zweiten Stoffs aufgeheizt, mit mindestens einem Präkursorgas beaufschlagt, von dem zumindest ein Anteil seiner Teilchen in mindestens zwei Teile (16, 18) aufgespalten wird. Erfindungsgemäß wird ein Substrat (10, 10') mit einer rauhen oder porösen Oberfläche verwendet, dessen Stoff eine geringere Massendichte hat als der erste Stoff, und wird das Substrat (10, 10') während des Wachstums des Kristalls (25, 25') nach und nach unter Freisetzung von Atomen (24) der gemeinsamen Atomsorte thermisch zersetzt. Das Verfahren eignet sich insbesondere zur Herstellung von Nitriden der Gruppe-III-Metalle.



DE 199 36 905 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Kristalls eines ersten, mindestens zwei Atomsorten enthaltenden Stoffs auf einem kristallinen Substrat eines zweiten Stoffs, der mindestens eine Atomsorte mit dem ersten Stoff gemeinsam hat und der eine geringere Schmelztemperatur hat als der erste Stoff, bei dem das Substrat auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des zweiten Stoffs aufgeheizt wird, mit mindestens einem Präkursorgas beaufschlagt wird und zumindest ein Anteil der Teilchen des Präkursorgases in mindestens zwei Teile aufgespalten wird.

Ein solches Verfahren ist aus der Druckschrift US-A 5.834,379 bekannt. Darin wird ein epitaktisches Wachstumsverfahren für die Herstellung von Galliumnitrid (GaN) mit überwiegend kubischer Kristallstruktur auf einem Galliumarsenid(GaAs)-Substrat beschrieben. Dieses bekannte Verfahren basiert im wesentlichen auf der Nitridisierung einer Oberfläche des GaAs-Substrats in einer Ammoniakatmosphäre. Dabei wird durch Einstrahlung von elektromagnetischen Wellen im Radiofrequenz(RF)-Bereich aus Ammoniak atomarer Stickstoff erzeugt. In Gegenwart eines solchen sogenannten RF-Plasmas wird bei dem bekannten Verfahren eine dünne Oberflächenschicht des auf eine Temperatur von 680°C aufgeheizten GaAs-Substrats in GaN umgewandelt. Mit Hilfe dieses Verfahrens werden GaN-Schichten mit überwiegend kubischer Kristallstruktur und einer Dicke von bis zu 1000 Å hergestellt.

Nachteilig ist bei diesem bekannten Verfahren, daß die dickeren GaN-Schichten polykristallin sind, und sowohl Bereiche mit kubischer als auch mit hexagonaler Kristallstruktur enthalten. Derartiges Material eignet sich jedoch nicht dafür, die derzeit gängigen Substratmaterialien wie Saphir (Al_2O_3) oder Siliziumcarbid (SiC) für die Herstellung elektronischer und optoelektronischer Bauelemente auf GaN-Basis zu ersetzen. Die Nachteile dieser Substratmaterialien sind zum einen eine hohe Gitterfehlpassung und zum anderen ein stark unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizient im Vergleich mit GaN. Zur Herstellung langlebiger und leistungsfähiger optoelektronischer Bauelemente auf GaN-Basis wird jedoch ein möglichst defektfreies, einkristallines Substratmaterial benötigt, dessen Gitterkonstanten und thermische Ausdehnungskoeffizienten sich möglichst wenig von den entsprechenden Werten des GaN unterscheiden. Das optimale Substratmaterial wäre selbstverständlich einkristallines GaN selbst.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzuentwickeln, daß es zur Herstellung von Einkristallen einsetzbar ist.

Die Aufgabe wird bei dem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein Substrat mit einer rauen oder porösen Oberfläche verwendet wird, dessen Stoff eine geringere Dichte hat als die des ersten Stoffs und daß das Substrat während des Wachstums des Kristalls nach und nach unter Freisetzung der Atome der gemeinsamen Atomsorte thermisch zersetzt wird.

Erfindungsgemäß wird zum einen ein Substrat mit einer rauen oder porösen Oberfläche verwendet. Dadurch wird die Bildung von Kristallisationskeimen gefördert, die sich überwiegend auf den Spitzen der die Rauigkeit der Oberfläche verursachenden Strukturen bilden. Wie sich aus Untersuchungen der Erfinder ergibt, vermeiden eine hohe Anzahl Oberflächenstrukturen pro Flächeneinheit und ihre geringe laterale Ausdehnung die Bildung struktureller Defekte im aufwachsenden Kristall und die Neigung zur Bildung polykristalliner Bereiche.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Substrat verwendet, dessen Massendichte geringer ist als die des aufwachsenden

Kristalls. Da das Substrat ebenfalls erfindungsmäßig während des Wachstums des Kristalls nach und nach thermisch zersetzt wird, bildet sich aufgrund des Dichteunterschieds zwischen dem Substrat und dem aufwachsenden Kristall ein Spalt aus. Während für die anfängliche Bildung von Kristallisationskeimen und deren Zusammenwachsen zu einem kristallinen Film die Rauigkeit der Oberfläche entscheidend ist, ist für das weitere Dickenwachstum des Kristalls der Spalt zwischen ihm und dem Substrat besonders günstig. Der Spalt ermöglicht eine Diffusion der durch die thermische Zersetzung des Substrats aus der Oberfläche heraustretenden Atome der dem Substrat und Kristall gemeinsamen Atomsorte und ermöglicht so ein homogenes Dickenwachstum. Dabei ist die Dicke des aufwachsenden Kristalls grundsätzlich nur durch die Dicke des Substrats, d. h., die Anzahl der im Substrat enthaltenen Atome der gemeinsamen Atomsorte begrenzt. Selbstverständlich kann das Wachstum aber in jedem Stadium abgebrochen werden, um einen Kristall mit einer vorbestimmten Dicke zu erhalten.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Kristall in Richtung des Substrats wachsen gelassen. Dadurch stehen die aus der Oberfläche des Substrats in den Spalt zwischen Substrat und wachsendem Kristall ausgetretenen Atome der gemeinsamen Atomsorte unmittelbar zur Anlagerung auf der Wachstumsfläche des wachsenden Kristalls und/oder zur Reaktion mit dem für die Kristallbildung wesentlichen Teil des aufgespaltenen Präkursorgases zur Verfügung. Der Spalt zwischen dem Substrat und der Wachstumsfläche des Kristalls ermöglicht eine ausreichend hohe Konzentration der Präkursorbestandteile zur Gewährleistung des Wachstums. Aufgrund der geringeren Dichte des Substrats im Vergleich mit dem aufwachsenden Kristall nimmt die Größe des Spalts beim Wachstum nach und nach zu. Dadurch wird die Diffusion der Präkursorbestandteile in der Gasphase in den Spalt hinein zunehmend leichter und begünstigt so zusätzlich das Kristallwachstum.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird ein Substrat mit einer rauen Oberfläche verwendet, die zumindest zu Beginn des Verfahrens Strukturen mit einem mittleren Abstand von weniger als 1 µm aufweist. Dadurch entsteht am Anfang des Wachstumsprozesses eine hohe Anzahl von Kristallisationskeimen pro Flächeneinheit, die die Bildung eines Kristallfilms mit einer weitgehend homogenen Kristallstruktur und einer geringen Anzahl struktureller Defekte begünstigen.

Zur Herstellung von einkristallinen Kristallen wird bei einer anderen Ausführungsform ein Substrat verwendet, dessen Oberfläche zumindest zu Beginn des Verfahrens Strukturen mit einem mittleren Abstand von weniger als 200 nm aufweist. Auf diesen Substraten können einkristalline Schichten mit einer Dicke von mehr als einem Mikrometer hergestellt werden.

Besonders günstig ist es dabei, wenn die Strukturen eine geringe laterale Ausdehnung aufweisen. In einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung wird daher ein Substrat verwendet, welches auf seiner Oberfläche inselförmige Nanostrukturen mit einer lateralen Ausdehnung von etwa 10 nm aufweist. Diese Inseln können beispielsweise heteroepitaktisch gewachsene dreidimensionale, gespannte Wachstumsinseln sein, die typischerweise etwa pyramidenförmig sind und in der Halbleitertechnologie als elektronische Quantenstrukturen (Quantenpunkte) Anwendung finden. Derartige Substrate lassen sich kontrolliert mit einer vorbestimmten Anzahl pro Flächeneinheit sowie Ausdehnung der Nanostrukturen auf ihrer Oberfläche herstellen.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird als Substrat ein Wafer mit einer (111)-Orientierung seiner dem wachsenden Kristall zugewandten Oberfläche verwen-

det. Diese Orientierung begünstigt das Wachstum von Einkristallen mit hexagonaler Kristallstruktur.

Vorzugsweise werden Substrate mit lateralen Ausmaßen von mindestens 2,5 cm verwendet. Aufgrund des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens wachsen die Kristalle mit etwa derselben lateralen Ausdehnung wie das Substrat. Um die Weiterverarbeitung der hergestellten Kristalle zu erleichtern, empfiehlt sich daher die Verwendung von Substraten mit genormten Größen, wie etwa ein Zoll, zwei Zoll etc. Sollen die hergestellten Kristalle selbst als Substrat bei der Produktion elektronischer oder optoelektronischer Bauelemente verwendet werden, ist ein Wachstum mit einer lateralen Ausdehnung von zwei Zoll wirtschaftlich günstig.

Bei einer weiteren Ausführungsform wird das Substrat nach Abschluß des Kristallwachstums von dem gewachsenen Kristall abgelöst. Es steht dann ein unverspannter Kristall zur Verfügung, der ohne Rücksichtnahme auf die Eigenschaften des ehemals mit ihm verbundenen Substrats genutzt werden kann. So kann ein solcher Kristall beispielsweise selbst als Substrat in einem epitaktischen Wachstumsverfahren genutzt werden, bei dem eine Wachstumstemperatur erforderlich ist, die höher ist als die Schmelztemperatur des Substratmaterials, auf dem der Kristall selbst hergestellt wurde.

Besonders vorteilhaft ist die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Galliumnitrid(GaN)-Kristalls, wobei als Substrat ein galliumhaltiger Wafer verwendet wird, der mindestens eine oxidierte Oberfläche aufweist. Oxidierte, galliumhaltige Wafer sind günstig erhältlich und haben eine Oberflächenstruktur, die die Keimbildung beim Wachstum des Galliumnitrids in nahezu idealer Weise fördert. Die Oberfläche solcher oxidierter Wafer weist in der Regel hügelartige Strukturen mit einer sehr hohen Anzahl pro Flächeneinheit und einer geringen lateralen Ausdehnung auf. Der mittlere Abstand der Hügel liegt hier typischerweise unter 200 nm und ist daher insbesondere für die Herstellung einkristalliner GaN-Schichten geeignet.

Als Präkursorgase kommen für die Herstellung von Galliumnitrid bei dieser Ausführungsform insbesondere Ammoniak oder Stickstoff in Frage. Beide Gase finden seit langem in der Epitaxie von Galliumnitrid Verwendung. Ausgereifte technische Verfahren zur Erzeugung atomaren Stickstoffs aus diesen Präkursoren sind bekannt. Aus Ammoniak kann atomarer Stickstoff in einfacher Weise durch thermische Zersetzung gewonnen werden. Aber auch die oben schon erwähnte Verwendung gepulster oder kontinuierlicher elektromagnetischer Strahlung im Radiofrequenzbereich ist selbstverständlich einsetzbar, insbesondere, wenn geringere Wachstumstemperaturen gewünscht sind (sogenanntes RS-Plasmaassistiertes Wachstum).

Zur Herstellung eines GaN-Kristalls wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt ein Galliumarsenid(GaAs)-Wafer als Substrat verwendet. Galliumarsenid ist ein relativ leicht und günstig erhältliches Substratmaterial, das sich für die hiesigen Zwecke zusätzlich insbesondere durch eine vergleichsweise hohe Schmelztemperatur von etwa 1240°C auszeichnet. So kann das erfindungsgemäße Wachstumsverfahren problemlos bei Temperaturen oberhalb von 700°C betrieben werden, bei denen auch Ammoniak mit hoher Effizienz thermisch zersetzt wird. Grundsätzlich sind Temperaturen von mindestens etwa 400°C erforderlich, um Ammoniak thermisch zu zersetzen und eine für ein wirtschaftliches Herstellungsverfahren ausreichende Konzentration von Galliumatomen zwischen Substrat und aufwachsender GaN-Schicht zu erzeugen.

In einem alternativen Verfahren zur Herstellung eines GaN-Kristalls wird als Substrat ein Galliumantimo-

nid(GaSb)-Wafer verwendet. Galliumantimonid hat eine Schmelztemperatur von etwa 710°C und eignet sich daher insbesondere als Galliumquelle bei niedrigeren Wachstumstemperaturen. Grundsätzlich ist es selbstverständlich auch möglich, ein galliumphosphidhaltiges Substrat zu verwenden.

Ein nach einem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellter GaN-Kristall zeichnet sich durch eine defektarme, hexagonale Kristallstruktur aus. Das Verfahren ermöglicht das Wachstum von einkristallinen GaN-Schichten zur Verwendung beispielsweise als Substratmaterial in der Epitaxie optoelektronischer Bauelemente im blauen und ultravioletten Spektralbereich. Die laterale Ausdehnung der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten GaN-Kristalle wird im wesentlichen durch die laterale Ausdehnung des verwendeten Substrats, beispielsweise eines verwendeten GaAs-Wafers bestimmt. In analoger Weise ist auch die Dicke des bei dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten GaN-Kristalls allein durch die Dicke des verwendeten Substrats und die Dauer der Durchführung des Verfahrens bestimmt. So können, im Gegensatz zum eingangs genannten, bekannten Verfahren einkristalline Schichten mit einer Dicke in Wachstumsrichtung von mehr als 1 µm hergestellt werden.

In analoger Weise kann das erfindungsgemäße Verfahren auch zur Herstellung eines Indiumnitrid-Kristalls verwendet werden, wenn als Substrat ein indiumhaltiger Wafer verwendet wird, der mindestens eine oxidierte Oberfläche aufweist. Dabei wird in einer bevorzugten Ausführungsform ein Indiumarsenid(InAs)-Wafer verwendet. Alternativ kann jedoch auch ein Indiumphosphid(InP)-Wafer verwendet werden. InAs und InP haben Schmelztemperaturen von 943°C bzw. 1070°C, die eine Durchführung des Verfahrens bei Temperaturen erlauben, bei welchen auch Ammoniak als Präkursorgas effizient thermisch zersetzt wird.

Schließlich wird in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zur Herstellung eines Indiumgalliumnitrid(InGaN)-Kristalls ein indium- und galliumhaltiges Substrat verwendet. Für die Bildung einer großen Anzahl von Wachstumskeimen und für ein anschließendes, strukturreiches Kristallwachstum ist es auch hier vorteilhaft, daß das Substrat eine oxidierte Oberfläche aufweist, auf der die Indium-Gallium-Nitrid-Schicht aufwächst.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden anhand der nachstehenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen deutlich. Darin zeigt:

Fig. 1 eine schematische Querschnittsansicht eines Substrats im Anfangsstadium eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 2 eine Querschnittsansicht analog zur **Fig. 1** im Stadium der Bildung von Wachstumskeimen,

Fig. 3 eine Querschnittsansicht einer analog zur **Fig. 1** in einem Stadium nach Ausbildung einer geschlossenen Kristallschicht,

Fig. 4 eine Querschnittsansicht analog zur **Fig. 1** in einem späteren Stadium des Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 5 eine perspektivische, geschnittene Ansicht von Substrat und aufgewachsenem Kristall nach Abschluß des Verfahrens.

Fig. 1 zeigt in einer schematischen Querschnittsansicht ein GaAs-Substrat **10**, das in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung für die Herstellung einer einkristallinen GaN-Schicht verwendet wird. Bei dem GaAs-Substrat handelt es sich um einen oxidierten Wafer, der typischerweise hügelartige Oberflächenstrukturen **12** aufweist. Für die Bildung einer einkristallinen GaN-Schicht ist es günstig, wenn der laterale Abstand d zwischen den Oberflächenstrukturen im Mittel weniger als 200 nm beträgt.

Der Wafer wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel in einer (nicht dargestellten) Wachstumskammer einen gängigen Reaktors für die metallorganische Gasphasenepitaxie platziert. Alternativ kann selbstverständlich auch jeder andere Reaktortyp für die Gasphasen-Epitaxie verwendet werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird Ammoniak (NH_3) als Präkursorgas in die Wachstumskammer eingeleitet. In Fig. 1 wird dies durch mehrere schematisch dargestellte NH_3 -Moleküle 14 symbolisiert. Dabei kennzeichnen ein offener Kreis 16 jeweils ein Wasserstoffatom und ein gefüllter Kreis 18 jeweils ein Stickstoffatom. Durch Beheizen der Wachstumskammer werden das Substrat 10 und die Gasatmosphäre in der Wachstumskammer auf eine Temperatur von etwa 1000°C erhitzt. Dabei wird Ammoniak in Wasserstoff und Stickstoff zersetzt. Der so freigesetzte Stickstoff liegt in atomarer Form vor. Alternativ kann das Verfahren auch bei einer anderen Temperatur durchgeführt werden, die jedoch höher als 400°C und geringer als 1200°C sein muß. Wegen der thermischen Stabilität des Ammoniakmoleküls ist bei einer Temperatur unterhalb 400°C die Anzahl der freigesetzten Stickstoffatome zu gering, um GaN-Wachstumskeime entstehen zu lassen. Oberhalb 1200°C beginnt das GaAs-Substrat zu schmelzen.

Fig. 2 zeigt in einer Querschnittsansicht analog zu Fig. 1 die Phase der Bildung von GaN-Wachstumskeimen. GaN-Wachstumskeime 20 bilden sich bevorzugt auf den Spitzen der Oberflächenstrukturen 12 des oxidierten GaAs-Wafers 10. Dabei gehen aus den Ammoniakmolekülen 14 des Präkursorgases freigesetzte Stickstoffatome 22 Bindungen mit Galliumatomen des GaAs-Wafers 10 ein. Dieser Prozeß entspricht der bekannten Nitridisierung von GaAs-Oberflächen. Aufgrund der hohen Temperatur in der Reaktorkammer wird auch der GaAs-Wafer 10 thermisch zersetzt, wodurch freie Galliumatome 24 aus dem GaAs-Substrat 10 in die Gasatmosphäre der Reaktorkammer eintreten, sich an die Wachstumskeime 20 anlagern und zusammen mit freien Stickstoffatomen 22 zur Bildung einer geschlossenen GaN-Kristallschicht beitragen.

Fig. 3 zeigt in einer zu Fig. 1 analogen Querschnittsansicht das GaAs-Substrat 10 mit einer geschlossenen, aufgewachsenen GaN-Kristallschicht 25. Aufgrund der geringeren Dichte des GaAs im Vergleich mit GaN bildet sich im Laufe des Verfahrens zwischen Substrat und aufwachsender Kristallschicht beim Spalt 26 aus. Die GaN-Kristallschicht 25 liegt also nicht mehr mit ihrer gesamten Unterseite 28 auf dem GaAs-Substrat 10 auf. In den sich zwischen Substrat 10 und aufwachsender GaN-Kristallschicht 25 ausbildenden Spalt 26 diffundieren Ammoniakmoleküle 14 und freie Stickstoffatome 22 hinein. Zusammen mit den aus der Oberfläche des Substrats 10 austretenden Galliumatomen 24 lagern sich die freien Stickstoffatome 22 auf der Unterseite 28 der GaN-Kristallschicht an. Bei diesen epitaktischen Wachstumsverfahren wächst die GaN-Kristallschicht 25 daher in erster Linie in Richtung des sich im Laufe des Verfahrens nach und nach auflösenden GaAs-Substrats 10, entsprechend der Darstellung in Fig. 3 also nach unten hin.

Fig. 4 zeigt die GaN-Kristallschicht 25 und das GaAs-Substrat 10 in einem späteren Stadium des Wachstumsverfahrens. Die Dicke des Substrats 10 hat im Vergleich mit dem in Fig. 3 und den Fig. 1 und 2 dargestellten früheren Verfahrensphasen deutlich abgenommen, während die Dicke der aufgewachsenen GaN-Kristallschicht kontinuierlich zugenommen hat. Der Spalt 26 ist im Vergleich mit dem in Fig. 3 dargestellten Stadium stärker ausgeprägt.

Fig. 5 zeigt in einer perspektivischen, geschnittenen Darstellung eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte, einkristalline GaN-Schicht 25' auf einem GaAs-Substrat 10'. Die Darstellung lehnt sich an eine rasterelek-

tronenmikroskopische Aufnahme an, die von einem GaN/GaAs-Wafer nach Beendigung des Wachstumsverfahrens und anschließender Spaltung des Wafers aufgenommen wurde. Das Wachstum der GaN-Schicht 25' auf dem oxidierten GaAs-Wafer 10' wurde hier bei einer Dicke b der GaN-Schicht von etwa 50 nm abgebrochen. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich zwischen dem Substrat 10' und der aufgewachsenen Schicht 25' ein Spalt 26' mit einer Erstreckung a in Wachstumsrichtung von ca. 50 nm ausgebildet. Der Spalt erstreckt sich in den Querrichtungen – mit Ausnahme der verbliebenen Hügel 12' – über die gesamte Oberfläche des Substrats. Die GaN-Schicht 25' ist mit dem GaAs-Wafer 10' nur über die hügelartigen Strukturen 12' auf dessen Oberfläche verbunden. Die GaN-Schicht 25' läßt sich daher in einfacher Weise mechanisch vom GaAs-Wafer 10' ablösen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Kristalls (25, 25') eines ersten, mindestens zwei Atomsorten enthaltenden Stoffs auf einem kristallinen Substrat (10) eines zweiten Stoffs, der mindestens eine Atomsorte (24) mit dem ersten Stoff gemeinsam hat und der eine geringere Schmelztemperatur hat als der erste Stoff, bei dem das Substrat (10) auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des zweiten Stoffs aufgeheizt wird, mit mindestens einem Präkursorgas beaufschlagt wird und zumindest ein Anteil der Teilchen (14) des Präkursorgases in mindestens zwei Teile (16, 18) aufgespalten wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Substrat (10) mit einer rauen oder porösen Oberfläche verwendet wird, dessen Stoff eine geringere Massendichte hat als die des ersten Stoffs und daß das Substrat (10) während des Wachstums des Kristalls (25, 25') nach und nach unter Freisetzung von Atomen (24) der gemeinsamen Atomsorte thermisch zersetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kristall (25) in Richtung des Substrates (10) wachsen gelassen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat (10) mit einer rauen Oberfläche verwendet wird, die zumindest zu Beginn der Verfahrens Strukturen mit einem mittleren Abstand (d) von weniger als $1\ \mu\text{m}$ aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat verwendet wird, dessen Wachstumsoberfläche zumindest zu Beginn des Verfahrens Strukturen mit einem mittleren Abstand (d) von weniger als 200 nm aufweist.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat verwendet wird, das auf seiner Wachstumsoberfläche inselförmige Nanostrukturen mit einer lateralen Ausdehnung von etwa 10 nm aufweist.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein Wafer (10) mit einer (111)-Orientierung seiner dem wachsenden Kristall zugewandten Wachstumsoberfläche verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat (10) mit lateralen Ausmaßen von mindestens 2,5 cm verwendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat (10) mit lateralen Ausmaßen von mindestens 5 cm verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nach Abschluß des Kri-

stallwachstums das restliche Substrat (10') von dem gewachsenen Kristall (25') abgelöst wird.

10. Verfahren nach einem vorstehenden Ansprüche zur Herstellung eines Galliumnitrid-Kristalls, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein galliumhaltiger Wafer verwendet wird, der mindestens eine oxidierte Oberfläche aufweist. 5

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Präkursorgas Ammoniak verwendet wird. 10

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Präkursorgas Stickstoff verwendet wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Galliumarsenid (GaAs)-Wafer als Substrat verwendet wird. 15

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat auf eine Temperatur von mindestens 400°C aufgeheizt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat auf eine Temperatur von mindestens 700°C aufgeheizt wird. 20

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein Galliumantimonid (GaSb)-Wafer verwendet wird. 25

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat auf eine Temperatur von mindestens 200°C aufgeheizt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat auf eine Temperatur von mindestens 400°C aufgeheizt wird. 30

19. Filmförmiger Galliumnitridkristall (25'), gekennzeichnet durch seine Herstellung mit Hilfe eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18.

20. Galliumnitridkristall nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch seine hexagonale Kristallstruktur. 35

21. Einkristalliner Galliumnitridkristall nach Anspruch 19 oder 20.

22. Galliumnitridkristall nach einem der Ansprüche 19 bis 21, gekennzeichnet durch eine Dicke (b) in Wachstumsrichtung von mehr als 1 µm. 40

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Herstellung eines Indiumnitrid-Kristalls, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein indiumhaltiger Wafer verwendet wird, der mindestens eine oxidierte Oberfläche aufweist. 45

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß als Substrat ein Indiumarsenid (InAs)-Wafer verwendet wird.

25. Indiumnitridkristall, gekennzeichnet durch seine Herstellung mit Hilfe eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und 23 oder 24. 50

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Herstellung eines Indiumgalliumnitrid-Kristalls, dadurch gekennzeichnet, daß ein indium- und galliumhaltiges Substrat verwendet wird, daß mindestens eine oxidierte Oberfläche aufweist. 55

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat eine oxidierte InGaAs-Epischicht auf einem GaAs-Substrat ist. 60

28. Indiumgalliumnitridkristall zur Verwendung als Substrat in einem epitaktischen Kristallwachstumsverfahren, gekennzeichnet durch seine Herstellung mit Hilfe eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und 26 oder 27. 65

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

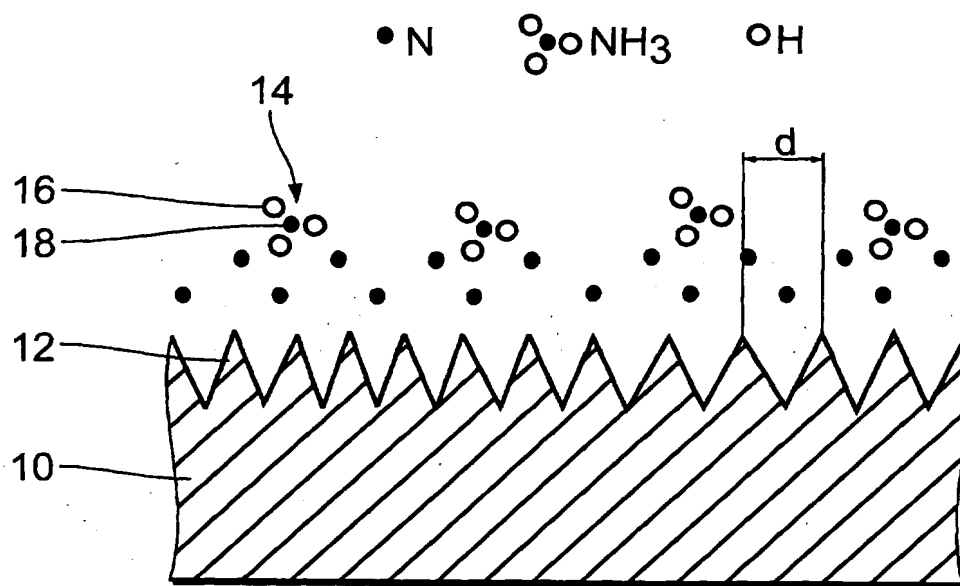


Fig. 1

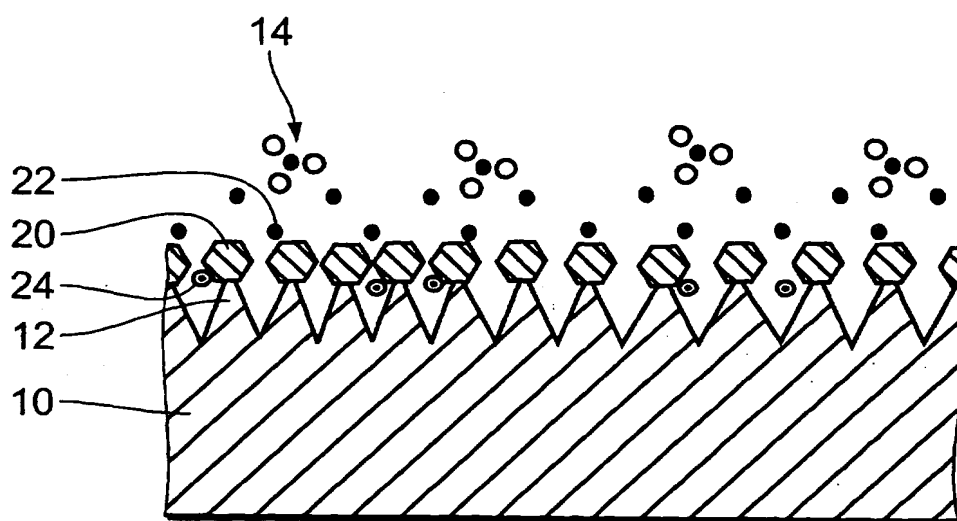


Fig. 2

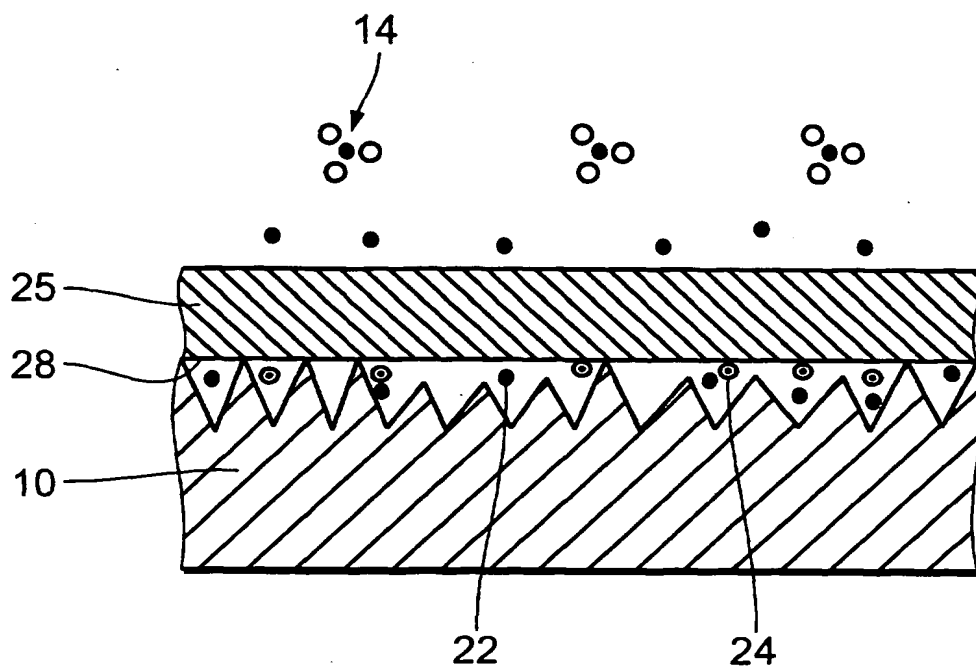


Fig. 3

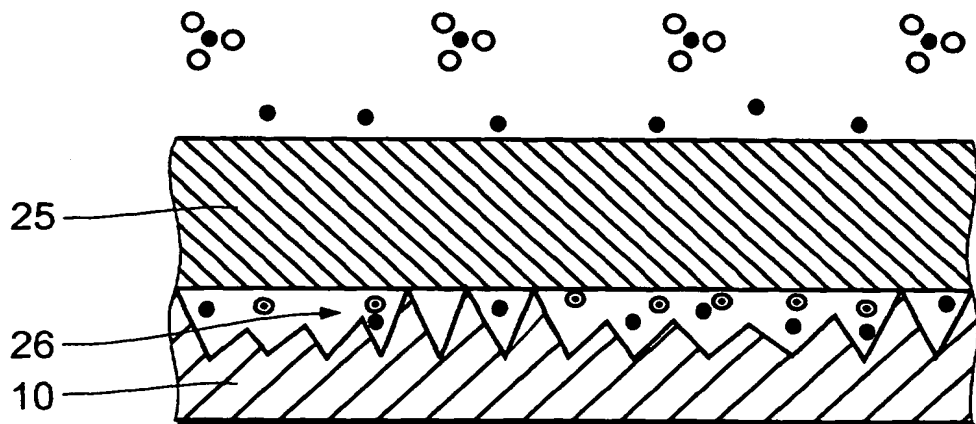


Fig. 4

THIS PAGE BLANK (USPTO)

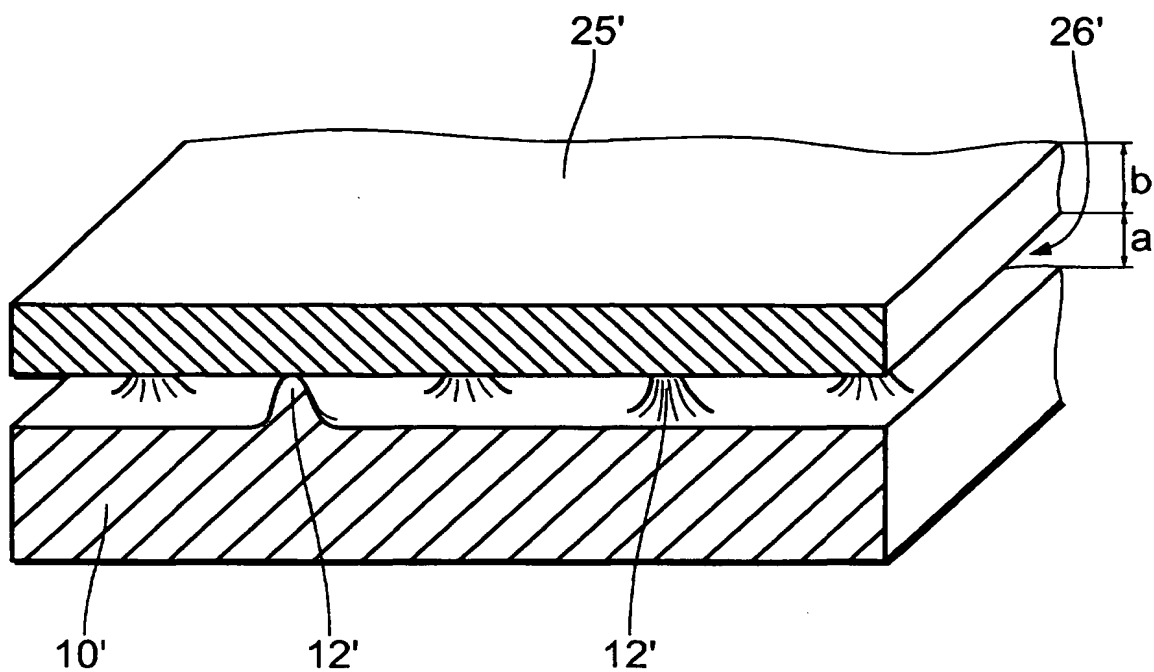


Fig. 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)